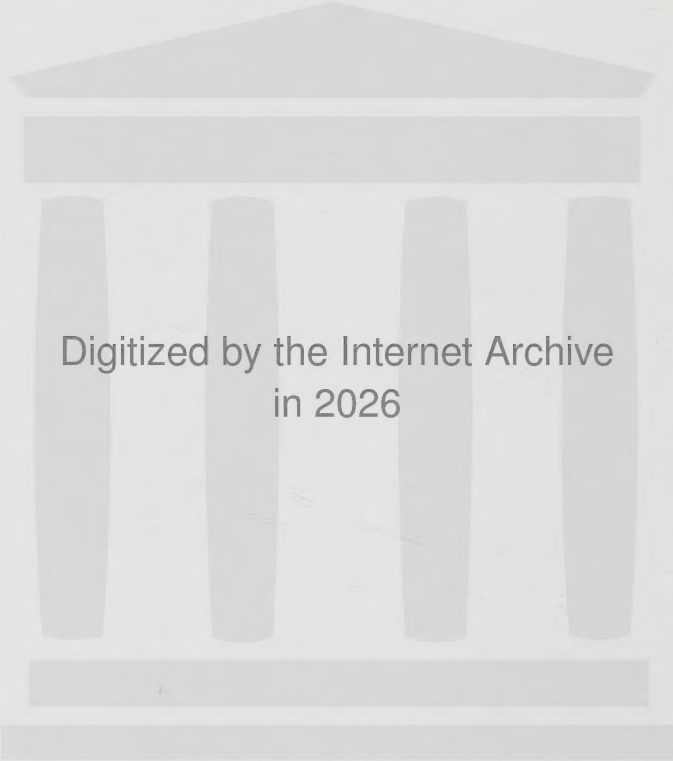


Untersuchungen über die Druckverhältnisse in den
Dentinkanälchen bei verschiedenartiger Bearbei-
tung der Zahnhartsubstanz

vorgelegt von
Karl-Heinz Pfeifer
—

1973
—



Digitized by the Internet Archive
in 2026

Aus der Poliklinik für Konservierende Zahnheilkunde
der Klinik für Zahn-, Mund- und Kieferkrankheiten
(Direktor: Professor Dr. Dr. W. Ketterl)
der Johannes - Gutenberg - Universität Mainz

Untersuchungen über die Druckverhältnisse in den
Dentinkanälchen bei verschiedenartiger Bearbei-
tung der Zahnhartsubstanz

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung der Doktorwürde der Medizin/Zahnheilkunde
der Johannes Gutenberg - Universität Mainz, den Medizinischen
Fachbereichen

vorgelegt von
Karl-Heinz Pfeifer
aus Zweibrücken

Mainz 1973



Fachbereichsdekan:

Referent:

Korreferent:

Professor Dr.Dr.W.Ketterl

Professor Dr.Dr.W.Ketterl

Professor Dr.K.Fuhr

Gliederung

- I. Die Bearbeitung der Zahnhartsubstanz
- II. Der Dentinliquor
- III. Reaktionen des Dentinliquors
- IV. Eigene Untersuchungen
 - 1. Material und Methode
 - a) Auswahl der Zähne
 - b) Versuchsanordnung
 - c) Statistische Verfahren für die Auswertung
 - 2. Ergebnisse
- V. Kritische Betrachtung
- VI. Zusammenfassung
- VII. Literaturverzeichnis

I. Die Bearbeitung der Zahnhartsubstanz

Wenn das Dentin durch akutes oder chronisches Trauma seiner vor den verschiedensten Umwelteinflüssen chemischer oder physikalischer Natur schützenden Schmelzschicht beraubt ist, stellt es in dem freigelegten Bereich pathohistologisch definiert eine Wunde dar. Diese Tatsache wurde seit 1928, als Wannemacher auf dieses Problem hinwies, an Hand von klinischen Beobachtungen und histologischen Untersuchungen immer wieder von zahlreichen Autoren bestätigt.

Das Besondere einer Dentinwunde im Vergleich zur normalen Weichteilwunde ist jedoch, daß eine Wiederherstellung oder Erneuerung des durch krankhafte oder mechanisch-traumatisierende Prozesse verlorengegangenen Schmelzes durch körpereigene Heilungskräfte und Materialien nicht stattfindet. Somit obliegt das ganze regenerative bzw. reparatorische Geschehen als Folge einer Wundsetzung im Dentin ausschließlich dem subepithelialen Gewebe und hier vor allem dem zweiten, d.h. unspezialisierten Pulpaparenchym, aber auch die Odontoblasten mit den intratubulären Fortsätzen im Dentin, den TOMES'schen Fasern und ihren sich extrakanalikulär synzytial verflechtenden Abzweigungen feinsten Fibrillen ($\approx 640 \text{ \AA}$), ferner die sie umrankenden markarmen Nervenfasern sowie die Interstitialflüssigkeit (Dentinlymphe, Dentinliquor) nehmen natürlicherweise entsprechend ihrer funktionellen Wertigkeit am Antwortgeschehen teil.

Jede Präparation eines Zahnes im Verlaufe einer zahnärztlichen Maßnahme führt zu akuter Traumatisierung gesunder Dentinpartien, deren Folgen um so verheerender sind, je unvorsichtiger und rücksichtsloser dabei vorgegangen wird. Die Gefahr einer degenerativen und entzündlichen Antwortreaktion der Pulpa ist, wie aus Mitteilungen von Manley (1936), Huysen und Gurley (1939) und anderer Autoren entnommen werden kann, eine schon lange klinisch bekannte Erfahrung. So wurde besonders vor Pulpairritationen durch die zwischen angrei-

fendem Instrument und Dentinoberfläche entstehende Reibungswärme gewarnt und eindringlich empfohlen, jede Temperaturerhöhung zu vermeiden. Darüber, daß zu diesem Zweck eine intensive Kühlung der Dentinoberfläche bei allen Präparationsarten, insbesondere der höchsttourigen, zu erfolgen hat, ist man sich einig.

Erst relativ spät beschäftigte man sich dann auch mit den mittel- und unmittelbaren Auswirkungen einer Verletzung der Odontoblastenfortsätze in den angeschnittenen Dentinkanälchen auf die Pulpa. Bemerkenswert sind in diesem Zusammenhang einige Untersuchungen der letzten Zeit, die nachweisen konnten, daß Pulpareaktionen, die durch konventionelle Präparationsinstrumente hervorgerufen werden, im großen und ganzen denen neuentwickelter Arbeitsmethoden (Sandstrahlgebläse, Ultraschall, Luftturbine) entsprechen. Langeland fand anhand eingehender Untersuchungen heraus, daß der Pulpa die Hauptgefahr bei der Kavitätenpräparation weniger durch eine übermäßige Tiefenwirkung der so gefürchteten Reibungswärme, sondern vielmehr durch das Austrocknen der entstehenden Dentinwandfläche erwächst, denn an Hand histologischer Präparate konnte gezeigt werden, daß eine Alteration betroffener Pulpabereiche stets dann besonders intensiv und umfangreich zu beobachten war, wenn die Kavität ohne Kühlung trocken oder gar unter kühlendem Preßluftstrom ausgebohrt wurde. Dagegen erzeugte eine Bearbeitung des Dentins mit kontinuierlicher spray- oder strahlförmiger Bewässerung keine sofort sichtbaren pathologischen Gewebereaktionen, abgesehen von zu vernachlässigenden Ausnahmen.

Damit also die instrumentelle Freilegung des Dentins möglichst wenige pathologische Reaktionen im Bereich der organischen Substanz in Dentin und Pulpa zur Folge hat und um der gefährlichen Austrocknung des Dentins während der Präparation vorzubeugen, sollte das Dentin stets bei mög-

lichst hohen Umdrehungszahlen mit geringem Druck naß beschliffen werden (1).

Nun kurz zur Entwicklung des hoch- und höchsttourigen Bohrens und Schleifens: Die Reihe der neuentwickelten Arbeitegeräte zum Bohren und Schleifen begann mit dem sogenannten Sandstrahlgebläse, das die Zahnhartsubstanz mit Aluminiumoxidteilchen abradierete. Dann folgte das Cavitron, ein Gerät, das verschieden geformte Stößel in ultrahohe Schwingungen versetzte, die durch eine flüssige Zwischensubstanz auf die Zahnhartsubstanz übertragen wurden und diese abtrugen. Beide Geräte konnten sich jedoch für die Zahnhartsubstanz - Präparation nicht durchsetzen.

Erfolgreicher wurde dagegen die Drehzahlerhöhung der rotierenden Präparationsinstrumente durch vergrößerte Räder oder Übersetzungen im Doriotgestänge vorangebracht. Um die Drehzahlerhöhung sinnvoll anzuwenden, mußten jedoch noch verschiedene andere Erfindungen gemacht werden, denn die Wärmeentwicklung sowohl in den Instrumenten als auch an der Präparationsstelle mußte verhindert werden. In den fünfziger Jahren waren die Voraussetzungen hierfür besser als im Jahre 1930 als Huet bereits eine Drehzahlerhöhung bis zu 15 000 U/min empfohlen hatte, aber an apparativen Unzulänglichkeiten, besonders für die Kühlung scheiterte. Nelson hatte eigentlich mit seiner Wasserturbine eine sehr gute Konzeption. Es wurden 50 000 U/min erzeugt und das Wasser des Antriebs gleichzeitig zur Kühlung benutzt.

Die Erfindung der Luftturbine, von Borden inauguriert, überflügelte jedoch dieses Gerät sehr schnell. Sie wurde mit 30 l Luft in der Minute angetrieben und entwickelte mehrere hunderttausend Umdrehungen in der Minute. Seit dem Jahre 1957 ist eine große Zahl von Dentalturbinen von verschiedenen Firmen entwickelt, hergestellt und verkauft worden.

Von Anfang an bemängelten die Kritiker der Turbine vor

allem den Mangel an Durchzugskraft und den Pfeiften. So stand die Entwicklung von Geräten nicht still, die einen Drehzahlbereich zwischen 40 000 und 100 000 pro Minute erreichten und nicht so laut waren.

Die Vermeidung von Schmerzen ist ein Hauptanliegen unserer Patienten. Theoretisch kann man die mechanischen Schmerzursachen auf drei Faktoren zurückführen: Druck, Vibration und Temperaturentstehung.

Betrachtet man die Wirkungsweise eines Excavators, also eines Handinstrumentes, so ist bei diesem der Druck die einzige Schmerzursache, wenn mit ihm kariöses Dentin abgehoben wird. Beim Gebrauch der Turbine liegt die geringe Vibration oberhalb der Wahrnehmungsfähigkeit des Periodontiums, und der Druck durch die Zahnarztband ist wegen des geringen Durchzugvermögens auf etwa 120 g beschränkt. Als mechanische Schmerzursache kommt demnach hauptsächlich die an der Bohr- oder Schleifstelle entstehende Wärme in Betracht. Bei Bohrgeräten mit größerer Durchzugskraft sind Druck, Temperatur und Vibration Schmerzursachen, wenn die Drehzahl nicht über 80 000 pro Minute liegt.

Man kann jedoch unterstellen, daß noch andere Faktoren für den Bohrschmerz verantwortlich sind und außerdem die Schmerzempfindung außerordentlich großen individuellen Schwankungen unterliegt, wie jeder Zahnarzt aus der täglichen Praxis weiß.

Aus diesen Tatsachen müssen Maßnahmen abgeleitet werden, die schmerzverhütend oder schmerzlindernd wirken können:

1. Verminderung der Vibration im normaltourigen Bereich, z.B. durch Verwendung der imperatorgelagerten Diamanten und Bohrer.
2. Verhinderung der Temperatursteigerung durch geeignete Spray- oder Wasserstrahlsysteme, wozu ein vorgewärmter Wasserstrahl mit etwa 35°C besonders geeignet ist.
3. Reduzierung der Vorschubkräfte (des Druckes) durch Ver-

wendung hoher und höchster Drehzahlen.

Es muß noch erwähnt werden, daß etliche Zusatzinstrumente notwendig wurden, um hohe und höchste Drehzahlen bei der Präparation der Zahnhartsubstanz tatsächlich erfolgreich anwenden zu können. Es sind zu nennen: Hartmetallbohrer, diamantierte Schleifer, Spraymatic, Orosuc.

Zur Auswirkung des Bohrens und Schleifens auf die Zahnhartsubstanz ist folgendes zu sagen: Die mechanischen Einflüsse haben eine Gefügebrauflöckerung des Schmelzes - nicht des Dentins - in Abhängigkeit von der Drehzahl zur Folge. Diese ist durch Verminderung der Härte bei Erhöhung der Drehzahl bis in eine Tiefe von 500 μ m festzustellen. Auch thermische Einflüsse führen bei Drehzahlerhöhung zu einer immer tiefer greifenden Strukturveränderung, zu einer Depolymerisation im Dentin. Die Anwendung von Spray und Wasserstrahlberieselung beim Präparieren kann dieses Verbrennen weitgehend verhindern. Die Temperaturentwicklung ist beim Schleifen größer als beim Bohren (3).

Bei dieser Sachlage sind Kühlverfahren besonders wichtig. Aus Versuchen mit Spray und Wasserkühlung ging hervor, daß bei richtiger Einstellung des kühlenden Strahles die Bohrwärme vollständig abgeführt werden kann. Die Temperatur des Zahnes wird dann vom Kühlmittel und nicht vom Bohrvorgang bestimmt. Auch bei den höchsten Drehzahlen der Turbine ließen sich die Zahntemperaturen durch richtige Kühlung in einem unschädlichen Bereich halten. Man erhält nahezu isothermes Bohren, wenn das Kühlmittel beim Auftreffen auf die Bohrstelle etwa 2 Grad kälter ist als der Zahn. Das Kühlmittel kühlt sich in den Zuleitungen und durch Verdunsten im Treibstrahl etwas ab, sodaß die Temperatur im Vorratsbehälter um einen gewissen Betrag höher sein muß. Bei Wasserkühlung muß der Strahl sehr genau die Bohrstelle treffen, da andernfalls wegen der schlechten Wärmeleitfähigkeit der Zahnhartsubstanz die Bohrwärme nur unvollständig abgeführt wird (6). Während eines intermittierenden Präparationsvorganges unter 50 g An-

druck und Anwendung einer Spray- bzw. Wasserstrahlkühlung können Temperaturerhöhungen im Pulpenkavum mit Sicherheit vermieden werden. Bei richtiger klinischer Anwendung der hohen und höchsten Drehzahlen sind demnach pathologische Veränderungen der Pulpa auf Grund thermischer Reize nicht nachweisbar. Thermische Schädigungen der Pulpa sind nur dann zu befürchten, wenn Zähne unter gesteigertem Druck (über 150 g) ohne Wasserkühlung präpariert werden, wobei sich außerdem die Schleifwerkzeuge in dauerndem Kontakt mit dem zu präparierenden Zahn befinden müssen (5).

Die Reaktionen der Pulpa auf exogene Einflüsse aller Arten, so auch auf die Kavitätenpräparationen, hängt weitgehend vom Ausgangszustand des Zahnorgans und des Zahnmarks ab. Dieser kann auch bei jugendlichen, analogen Zähnen sehr unterschiedlich sein. Eine normale Pulpa ist eine Seltenheit. Es ist deshalb problematisch, genaue Angaben über die pathohistologische Reaktion der Pulpa zu machen und zu vergleichen, da diese sich immer auf verschiedene Pulpen verschiedener Zähne verschiedener Individuen mit verschiedenen Reaktionen beziehen müssen. Folgende histologische Veränderungen kann man als Reaktion der Pulpa auf Präparation werten:

1. Veränderungen des Dentins (calciotraumatic response)
2. Odontoblastenkerne in den Dentinkanälchen
3. Unterbrechung der pulpo-dentinalen Membran
4. Hohlräume im Pulpengewebe
5. Vakuolen in der Odontoblastenschicht
6. Geschrumpfte und in der Zahl reduzierte Odontoblasten
7. Verwaschene Strukturen und unscharfte Begrenzung der Odontoblastenschicht.
8. Veränderte Gefäße (vermehrt und vergrößert)
9. Infiltrationszellen im Gewebe
10. Mikrohämmorrhagien
11. Exsudate und ödematöse Durchtränkung des Pulpengewebes
12. Nekrose (18)

Im allgemeinen lassen sich Pulpaalterationen im Bereich des Kavitätenbodens in primäre und sekundäre Veränderungen aufteilen. Primäre Pulpenveränderungen treten unverzüglich nach der Kavitätenpräparation, innerhalb von Stunden auf und finden ihren Ausdruck in Hyperämien, Verlagerungen der Odontoblastenkerne in die Dentinkanälchen, Blutungen im Pulpagewebe, Reduzierung und Auflockerung der Odontoblastenschicht sowie in einer Nekrotisierung umschriebener, nahe dem Kavitätenboden gelegener Gewebsbezirke. Dagegen treten sekundäre Pulpaveränderungen erst ein bis zwei Wochen nach der Kavitätenpräparation in Erscheinung. Für sie sind die hydropischen Entartungen des Pulpagewebes, die Ausbildung von Granulationsgewebe, Rundzelleninfiltration sowie die Verbreiterung des Praedentinsaumes charakteristisch. Sie stellen eine aktive Antwort des Pulpagewebes auf eine Schädigung dar, die primär durch die Kavitätenpräparation entstand.

Die Pulpaveränderungen, die sich kurz nach erfolgter Präparation mit einer Elektrobohrmaschine oder Turbine ohne Anwendung des Wassersprays manifestieren, lassen in der Art der Gewebereaktion keine wesentlichen Unterschiede erkennen. In beiden Gruppen treten die primären Veränderungen etwa gleich häufig auf. Hinsichtlich der Sekundäralterationen ergeben sich jedoch Unterschiede: Nach einer Präparation mit der Elektrobohrmaschine treten schwere hydropische Entartungen des Pulpagewebes in Form riesiger Vakuolen und zystenartiger Hohlräume in Erscheinung. Solche Pulpaveränderungen kann man in einem derartigen Ausmaß nach der Präparationen mit einer Turbine nicht feststellen.

Vergleicht man die Pulpaveränderungen nach einer Präparation mit und ohne Wasserspray, so ergibt sich, daß durch eine zusätzliche Wassersprayanwendung die Gewebsalterationen weitgehend reduziert werden. Bei Zähnen, die unter Wasserspray bearbeitet wurden, traten in der Pulpa nur geringfügige primäre Veränderungen auf. Sekundäre Veränderungen, die mit der Präparation in Zusammenhang gebracht werden konnten, waren

nicht zu beobachten. Legte man die Kavitäten dagegen nur unter Luftkühlung, kam es des Öfteren zu stark ausgeprägten Gewebsalterationen. Hier konnte man als primäre Veränderungen Auflockerung und Reduzierung der Odontoblastenschicht, Kernverlagerung, hyperämische Bezirke mit frischen Blutungsherden sowie Nekrosen beobachten. Als sekundäre Veränderung trat eine hydropische Entartung des Pulpagewebes mit Rundzelleninfiltration auf (16).

Bei der Bearbeitung der Zahnhartsubstanz interessieren jedoch nicht nur die zu erwartenden Pulpaveränderungen, sondern auch der Mechanismus, der die Schmerzempfindung auf die von außen kommenden Einflüsse weiterleitet. In einer Reihe von Experimenten hat M.Brännström eine neue Theorie über die Empfindlichkeit des Dentins aufgestellt. Seine Untersuchungen ergaben, daß die Dentinsensibilität die Folge eines hydrodynamischen Transmissionsmechanismus ist, der durch Veränderungen an den Dentinkanälchen, wie sie beim Bohren und Schleifen verursacht werden oder via Kanälcheninhalt ausgelöst werden kann.

Auf diesen Problembereich soll im Rahmen des Kapitels III. eingegangen werden.

II. Der Dentinliquor

Im Jahre 1953 lenkte G.Fischer (4) in einem Buch über die normale und pathologische Biologie des Zahnsystems erstmals die Aufmerksamkeit auf bestimmte Vorgänge, die sich bei lebenden Zähnen an der freigelegten Dentinoberfläche abspielen: Es erfolgte Flüssigkeitsaustritt aus den traumatisch eröffneten Dentinkanälchen. Nach der Auffassung des Autors handelte es sich hierbei um den Austritt von Blutplasma, welches aus dem Zahnmark stammend, über die Odontoblastenfortsätze in den Dentinkanälchen fortgeleitet wird. Nach dem Erscheinen auf der freigelegten Dentinoberfläche sei es unter Fibrinabscheidung und Gerinnung zur Bildung einer deckenden Membran befähigt (11).

Im Anschluß an die Beobachtungen G.Fischers erforschte Spreter von Kreudenstein mittels verschiedener Versuchsreihen die qualitative und quantitative Zusammensetzung der wichtigsten Bestandteile des flüssigen Dentinkanälcheninhaltes. Unter Ausnutzung des Pumpeffektes durch raschen Temperaturwechsel gelang es, den Austritt von Flüssigkeit aus eröffneten Dentinkanälchen makroskopisch und mikroskopisch an frisch extrahierten, jugendlichen Molaren nachzuweisen. Die zahlreichen, winzigen, wasserhellen Tröpfchen konnten mit stickstofffreiem Filterpapier abgefangen werden und ergaben eine positive Ninhydrinreaktion. Da es nicht möglich war, den Dentinliquor auf diese Weise in den für weitere Untersuchungen ausreichenden Mengen zu erhalten, fand sich ein anderer Weg zur Analyse des Dentinliquors: Die Gewinnung seiner löslichen Bestandteile in der Elution.

Zunächst wurde der Gehalt des Dentinliquors an freien Aminosäuren mit Hilfe der Papierchromatographie untersucht. Die Ergebnisse deuteten darauf hin, daß sich am häufigsten Alanin, Asparaginsäure, Valin, Serin, Threonin, Glutaminsäure, Leucin und Phenylalanin vorfanden. In späteren Versuchen fand man weitere Aminosäuren, die aber seltener im Dentinliquor

vorhanden sind: Thyrosin, Cystin, Glycin und Arginin. Die Aminosäuren Serin, Glutaminsäure, Lysin und Asparaginsäure liegen in besonders hohen Konzentrationen im Dentinliquor vor. Bei jeder einzelnen Aminosäure ist die Konzentration im Dentinliquor wesentlich höher als im Blutplasma (13). Der Nachweis von freien Aminosäuren im Dentinliquor genügte natürlich nicht, um ihn mit anderen Körperflüssigkeiten vergleichen zu können. Zur näheren Charakterisierung war es in erster Linie wichtig, über den Eiweißgehalt der Elution und über die im Gramm Dentin frisch extrahierter und lebender kariesfreier Zähne enthaltene Liquormenge Aufschluß zu erhalten. Der Gesamteiweißgehalt wurde durch die Bestimmung des Stickstoffgehaltes nach Kjeldahl ermittelt. An Gesamtstickstoff enthält der Dentinliquor 69,3 Gew. % (Standardabweichung 5,5 Gew. %), an Reststickstoff im Mittel 49,4 Gew. % (Standardabweichung 4,7 Gew. %). Der Eiweißgehalt beträgt im Mittel 12,4 Gew. % (Standardabweichung 1,6 Gew. %). An auswaschbaren Proteinen enthält der Dentinliquor im allgemeinen nur etwa 1,7 - 2 % der entsprechenden Serumproteine (15). Der Dentinliquor kann demnach in Bezug auf seinen Eiweißgehalt nicht mit dem Blutserum und noch weniger mit dem Blutplasma identifiziert werden. Seinem Eiweißgehalt nach entspricht er jedoch durchaus der Zwischengewebsflüssigkeit, mit der er auch insofern vergleichbar ist, als es sich in beiden Fällen um eine extravasale Flüssigkeit handelt (11).

Nach der Orientierung über den Eiweißgehalt des Dentinliquors befaßte man sich mit der Untersuchung der Eiweißfraktionen. Man fand, daß sich der Dentinliquor hinsichtlich der mengenmäßigen Verteilung der Zahl und Wanderungsgeschwindigkeit der Albumine und Globuline annähernd ebenso verhält wie im Serum (14).

Auf Grund der Fermentaktivitätsbestimmungen in Dentineluaten mit Hilfe der optischen enzymatischen Testmethoden ist der Gehalt des Dentinliquors an Aldolase, Milchsäuredehydrogenase (MDH), Glutamat-Pyruvat-Transaminase (GTP) und Glutamat-Oxalacetat-Transaminase (GOT) untersucht worden. Aus dem

Untersuchungsergebnis geht hervor, daß sämtliche der geprüften Fermente, die normalerweise im Serum vorkommen, auch im Dentinliquor nachweisbar sind. Während die Aldolase im Dentinliquor nur etwa ein Fünftel der Aktivität des Serums aufweist, zeigt die MDH im Dentinliquor einen Wert, der den des Serums um das Sechsfache übertrifft. Von den Transaminasen zeigt die GTP im Dentinliquor etwa den doppelten, die GOT etwa den gleich hohen Serumwert (12).

Im Dentininnern sind normalerweise immer relativ große Phosphatasemengen vorhanden. Die Aktivität der Dentinliquorphosphatasen beträgt im Mittel 2,0 KAE, berechnet auf 100 ml Dentinliquor. Das Zementgewebe enthält hierbei wesentlich größere Mengen an löslichen alkalischen Phosphatasen als das reine (zementfreie) Dentin (10).

Der Gehalt an freiem Wasser im gesamten Dentin vitaler menschlicher Zähne beträgt im Mittel 12,4 Gew. % (Standardabweichung 0,8 Gew. %). Der Raumanteil, der von dem freiem Wasser im Gesamtdentin eingenommen wird, beträgt für das physiologisch feuchte Dentin vitaler, jugendlicher Zähne etwa 25 Vol. %. Die Dentinkanälchen enthalten nur 45% des gesamten freien Wassers im Zahnbein, während sich die restlichen 55% in den Seitenverzweigungen der Dentinkanälchen und im sogenannten reinen Hartgewebe befinden (11).

Über die Zusammensetzung des Dentinliquors läßt sich also folgendes sagen: Der im Dentin vitaler Zähne enthaltene flüssige Kanälcheninhalt kann wegen seines niedrigen Eiweißgehaltes mit dem Blutplasma nicht identisch sein. Jedoch finden sich mannigfache Ähnlichkeiten zwischen Dentinliquor und Serum. Nach Kreudenstein ist der Dentinliquor eine Bindegewebsflüssigkeit und macht etwa 25% des Dentinvolumens aus. Anders als das Cytoplasma ist er arm an Kalium und reich an Natrium. Am Dentinfrischgewicht ist der Dentinliquor mit 12-13% beteiligt und nimmt den gesamten Raum ein, der im physiologisch feuchten Dentin frisch extrahierter Zähne von Flüssigkeit angefüllt ist. Der Dentinliquor befindet sich somit nicht nur in den Dentinkanäl-

chen, sondern ebenfalls in dem "reinen" Hartgewebe(8).

III. Reaktionen des Dentialiquors

Die Schmerzempfindlichkeit des Dentins ist ein sehr wichtiges klinisches und theoretisches Problem. Einige Forscher, darunter Fearnhead (1958) und Arvill (1960) konnten Nervenfasern im Dentin nachweisen und machten sie für die Ursache der großen Empfindlichkeit des Dentins verantwortlich. Eine andere Gruppe von Autoren, z.B. Philipp (1955) und Boch (1960) konnten dagegen keine Nervenfasern im Dentin ermitteln.

Es ist eine den Zahnärzten wohlbekannte klinische Erfahrung, daß Dentin oft eine auffallend große Empfindlichkeit aufweist, wenn der Bohrer die alleräußerste Schicht des Dentins passiert. Da jedoch noch kein Forscher geltend machen wollte, daß Nervenfasern so weit peripher im Dentin vorkommen, fragt man sich, wie eine Reizung bis zu dem Bereich übertragen werden kann, in dem Nervenfasern existieren (2).

Es wurde bereits erwähnt, daß es einer großen Anzahl Forschern nicht gelang, Nervenfasern im Dentin nachzuweisen, auf jeden Fall nicht in dessen äußeren Bereichen. Darüber hinaus kann angeführt werden, daß ein Teil klinischer und physiologischer Befunde andeuten, daß eine Weiterleitung des Schmerzes im Dentin nicht über Nervenfasern geschieht, sondern der nervöse Mechanismus erst in der Pulpa beginnt.

Bezüglich dieses Problems stellte M. Brännström im Jahre 1963 eine eigene Theorie über die Sensibilität des Dentins auf. Seiner Meinung nach erschien es ziemlich offensichtlich, daß man nach einem speziellen, nicht nervösen Übertragungsmechanismus suchen mußte, der die Schmerzempfindlichkeit des Dentins erklären kann. Ausgehend von einer Reihe von Experimenten, die er während vier vorangegangenen Jahre ausgeführt hatte, entwickelte er seine Theorie. Sämtliche

Untersuchungen deuteten darauf hin, daß die Sensibilität des Dentins die Folge eines hydrodynamischen Transmissionsmechanismus ist, der durch Veränderungen an den Dentinkanalmündungen oder via Dentinkanalinhalt ausgelöst werden kann.

Die Schmerzreaktion bei Eröffnung der Dentinkanälchen wurde auf folgende Weise gedeutet: Der reduzierte Druck - besonders wenn man zusätzlich noch Fließpapier in die Kavität legt - gibt Anlaß zu teilweisem Verlust des Dentinkanälcheninhaltes an der Oberfläche, insbesondere durch eine stärkere Verdunstung. Durch die Kapillarkraft führt dies eine Bewegung des Dentinkanalinhaltes nach außen hin mit sich, die auch die Odontoblasten in die Kanäle hineinzieht. Diese Bewegung nach außen oder der Vakuumeffekt, der hierbei an der pulpalen Mündung des Kanals entsteht, kann seinerseits den Schmerzmechanismus auslösen.

Das Blasen von Luft auf Dentin ergibt den gleichen Effekt wie reduzierter Druck, gleichzeitig verursacht dieses Vorgehen jedoch bei fünfminütiger Anwendung einen Sensibilitätsverlust. Das wurde mit einer Blockierung der Schmerzleitung durch Austrocknung des Dentinkanalinhaltes an der Dentinoberfläche erklärt. Die Ursache dafür, daß Luftblasung Schmerz bereitet, beruht ebenfalls auf dem Verlust eines Teiles von Dentinkanalinhalt an der äußeren Mündung. Gleichzeitig muß jedoch auch erwähnt werden, daß jede Bewegung des Dentinkanalinhaltes, die hinreichend schnell geschieht, zu einer Deformierung oder Beschädigung von Odontoblasten führt, was seinerseits Schmerz auslöst.

Ein Jahr, nachdem M. Brännström seine Theorie über die Sensibilität des Dentins aufgestellt hatte, zeigte O. Heikinheimo in einer Filmanalyse die Morphologie und Bewegung der Dentinflüssigkeit. Insgesamt wurden 30 Zähne untersucht und die Dentinflüssigkeitsversuche wurden nach dem Zeitrafferverfahren gefilmt. Es ergab sich folgender Sachverhalt: Nach Freilegung des Dentingewebes durch Beschleifen mit der Diamantscheibe, beginnt in der Regel un-

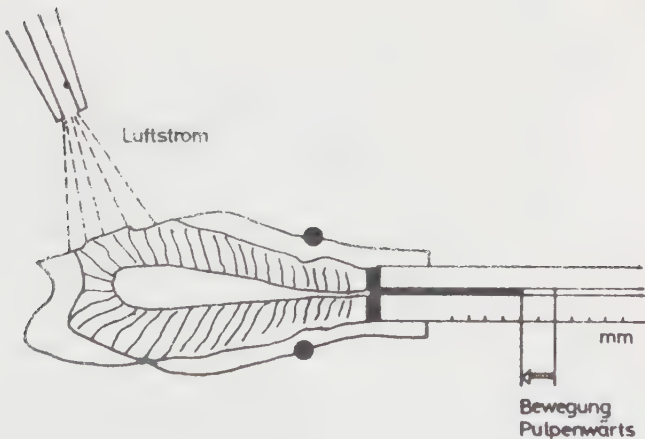
mittelbar aus den geöffneten Kanälen flüssiger Inhalt an die Außenfläche herauszutreten. Nach 1 - 2 Minuten sind bereits deutliche Flüssigkeitstropfen von 5 - 10 μ Durchmesser zu sehen. Zu gleicher Zeit beobachtet man Zusammenfließen von Tropfen aus den Inhalten zweier Kanäle. Die Geschwindigkeit der Flüssigkeitsströmung erfährt nach 10-15 Minuten eine Verlangsamung und einen Ausgleich. In Versuchen von mehreren Stunden Dauer konnten Tropfen wahrgenommen werden, deren Durchmesser von der Größenordnung 100 μ ist, jedoch ist nie beobachtet worden, daß die ausströmende Dentinflüssigkeit das gesamte betrachtete Gesichtsfeld bedeckt hätte, ganz zu schweigen von einem völligen Überfluten der ganzen freigelegten Dentinfläche. Verfolgt man das Wachstum ein und desselben Flüssigkeitstropfens, so bemerkt man darin Phasen einer gleichmäßigen Größenzunahme. Tropfen sind oft reichlicher und deutlicher in einiger Abstand von der Schmelz-Dentin-Grenze zu sehen. Dies kann mit der Lokalisation des Interglobulardentins zusammenhängen, da in diesem Bereich das Lumen der Dentinkanälchen durch Fehlen der peritubulären Schicht größer ist. Unter keinerlei Versuchsbedingungen findet Erguß von Gewebsflüssigkeit aus sämtlichen Kanälen statt. Die Tropfen kommen oft fleckenweise vor, sie haben Pilzform (7).

Gleichzeitig ergibt sich als Resultat des Substanzverlustes am distalen Ende der Kanälchen eine Aspiration von Odontoblasten in die Dentinkanälchen hinein. Dieses Phänomen der Odontoblastenaspiration, ein Effekt von Präparation und Lufttrocknung, wurde zuerst im Jahre 1957 beobachtet von Marsland, Shovelton und Langeland (17). Bisher hat sich noch keine allgemein anerkannte Erklärung des Mechanismus finden lassen, der diesem Phänomen zugrunde liegt. Man kann ihn durch verschiedenartige physikalische Stimulationen auslösen, z.B. durch eine 30 Sekunden lange Beblung mit Luft. Es wurde beobachtet, daß die Aspiration der Odontoblasten im allgemeinen mit einem Schmerzgefühl verbunden ist. Allerdings gibt es auch Gelegenheiten, wo keine Schmer-

zen auftreten. Dies geschieht, wenn das Stimulans stark genug ist, Veränderungen des Kanälcheninhaltes zu erzeugen, aber zu schwach, um Aspiration hervorzurufen, z.B. bei nasser Kavitätenpräparation.

Mechanische und thermische, desgleichen chemische Reize, die über den hydrodynamischen Transmissionsmechanismus übermittelt werden, haben einen sofortigen Effekt. Mittels verschiedener Kapillarversuche zeigte M.Brännström die Auswirkungen verschiedener klinischer Verfahren auf den Flüssigkeitsgehalt des Dentins und der Pulpa. Die entsprechende Versuchsanordnung sieht man in Abbildung 1.

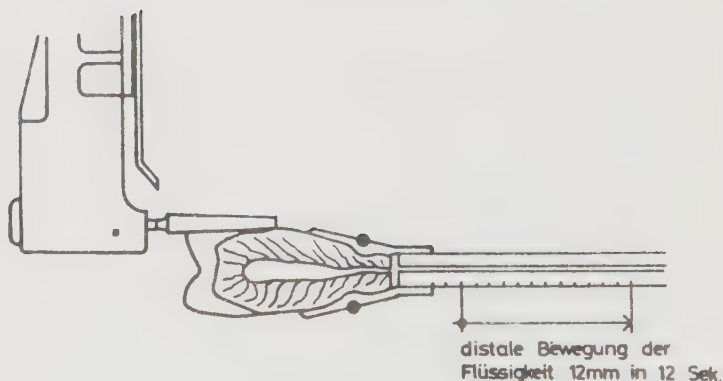
Abb.1



Die Pulpenhöhle eines Zahnes wurde mit einer Glaskapillare verbunden, die einen Durchmesser von 0,25 mm hatte. Das System wurde mit Salzlösung gefüllt. Ein 10 Sekunden dauernder Luftstrom auf das freigelegte bukkale Dentin verursachte einen pulpenwärts gerichteten Flüssigkeitsstrom in der Glaskapillare um etwa 2 mm.

Die Hitze, die beim Bohren entsteht, mag ebenso ein Strömen von Flüssigkeit in Dentin und Pulpa zur Folge haben. Bei 12-sekündigem Bohren ohne Kühlung durch den Schmelz hindurch in die äußeren Dentinschichten mittels eines Diamanten und einer Geschwindigkeit von 80 000 U/min bewegte sich die Flüssigkeit in der Glaskapillare um 12 mm nach distal. Siehe Abbildung 2.

Abb. 2



Man kann annehmen, daß der Haupteffekt auf die Flüssigkeit in den Kanälchen, die durch das Bohren eröffnet werden, eine Kombination ist von Expansion innerhalb der Kanälchen und Verdunsten an ihren zerrissenen Enden - beides entsprechend der erzeugten Hitze. Letztlich resultiert daraus ein Distalstrom in der Glaskapillare.

Die meisten Schmerz verursachenden Handlungen geben Anlaß zu einem Auswärtsstrom des Dentinliquors aus den Kanälchen. Andererseits scheint ein pulpenwärts gerichteter Strom in den Kanälchen durch Hitze und Expansion hervorgerufen zu

werden. Es muß jedoch hervorgehoben werden, daß Hitze nicht so leicht Schmerz verursacht wie z.B. chemische Substanzen oder Reizmittel, die einen auswärts gerichteten Strom in den Kanälen hervorrufen. Reibungshitze beim Bohrprozeß verursacht allerdings nicht nur einen pulpenwärts gerichteten Strom in den Dentinkanälchen, sondern verändert auch die chemische Zusammensetzung des Dentinliquors. In den meisten Berichten, die sich auf die Auswirkungen von Präparationen mit Hochgeschwindigkeitsbohrern auf die Pulpa beziehen, findet man Aussagen über Veränderungen, die augenscheinlich von der Dehydrierung abhängen, im besonderen den Verlust von Odontoblasten und die Bildung von Sekundärdentin. In Versuchen, bei denen die Präparation ohne genügende Kühlung durchgeführt wurde, sind auch Veränderungen vorgekommen, die eine diverse Verletzung der Pulpa durch Hitze anzeigen. Der kritische Faktor beim Präparationstrauma ist nicht der Verlust von Odontoblasten durch Dehydrierung, sondern vielmehr die Hitze, die die Pulpa erreichen kann. Von verschiedenen Seiten wird angegeben, daß es zu einer Heilung nach einem durch Hitze hervorgerufenen Trauma kommen kann. Wenn allerdings die Bedingungen ungünstig sind, d.h. wenn das Dentin dünn ist oder wenn die Blutzirkulation und die Widerstandskraft der Pulpa durch höheres Alter unzureichend sind, kann die Pulpa unterliegen. Dies ist ein Prozeß, der nicht sofort eintritt, sondern nach weiteren Reizungen, möglicherweise durch Bakterien oder chemische Reizstoffe, die auf dem Weg über undichte Füllungen, freigelegtes Dentin oder Parodontaltaschen Zutritt gewonnen haben. Es sollte auch darauf hingewiesen werden, daß sklerotisches und irreguläres Dentin in alten Zähnen noch weniger Schutz gegen Hitze darstellt wie gegen chemische Reizungen durch Karies oder Füllungsmaterialien.

IV. Eigene Untersuchungen

1. Material und Methode

Die folgenden Versuchsreihen stellen eine Fortsetzung der vorher dargelegten Brännströmschen Glaskapillarenversuche dar. Es handelt sich dabei um in vitro durchgeführte Untersuchungen, wobei in acht Versuchsreihen die Auswirkung verschiedenartiger Bearbeitung der Zahnhartsubstanz auf die Druckverhältnisse in den Dentinkanälchen dargestellt wird.

a) Auswahl der Zähne

Es wurden zur Untersuchung vierundachtzig vitale, vorwiegend kariesfreie und ungefüllte Zähne verwendet. Es handelte sich um einwurzelige Zähne, also Schneidezähne, Eckzähne und Prämolaren des Ober- und Unterkiefers. Das Alter der Patienten lag zwischen zwölf und fünfzig Jahren und die Zähne wurden entweder aus kieferorthopädischen oder aus parodontalen Gründen entfernt. Nach erfolgter Extraktion wurden die Zähne bei konstant 37°C in physiologischer Kochsalzlösung aufbewahrt. Die Zeit zwischen Extraktion und Versuchsbeginn betrug nie mehr als zwei Stunden.

b) Versuchsanordnung

Nach Herausnahme des Zahnes aus der physiologischen Kochsalzlösung wurde er folgendermaßen für den Versuch vorbereitet: Bei allen Versuchsreihen außer den beiden Turbinenversuchsreihen wurde zunächst auf der bukkalen bzw. labialen Fläche des Zahnes ein Teil des Schmelzes entfernt und somit das Dentin freigelegt. Dies geschah sehr vorsichtig mit der Turbine unter Wasserkühlung und mittels eines walzenförmigen diamantierten Schleifkörpers. Die Größe der freigelegten Dentinfläche entsprach der Angriffsfläche des jeweils für den eigentlichen Versuch verwendeten Rosenbohrers bzw. Schleifkörpers. Diese Maßnahme wurde als erstes durchgeführt, weil sie später vielleicht zu einer Verfälschung des Versuchsergebnisses geführt hätte und hatte den Zweck, zu

gewährleisten, daß das im Versuch durchgeführte Bohren bzw. Schleifen nur im Dentin stattfand. Die bei den einzelnen Zähnen oft stark variierende Schmelzdicke, bei deren Bearbeitung noch keine oder nur äußerst geringe Veränderung der Druckverhältnisse in den Dentinkanälchen zu erwarten war, hätte bei ihrer Belassung zu einer Verfälschung der Versuchsergebnisse geführt. Danach wurde die Wurzelspitze des Versuchszahnes in einer Länge von 3-4 mm mit einer Diamantscheibe reseziert. Der somit freigelegte Wurzelkanal wurde nun mit einem kleinen Rosenbohrer erweitert und in diese Öffnung ein 4 cm lange Glaskapillare etwa 2 mm weit eingeführt. Die Glaskapillare, die eine lichte Weite von 0,5 mm hatte, war vorher mit blau gefärbter physiologischer Kochsalzlösung zur Hälfte gefüllt worden. Zur Abdichtung und Fixierung wurde sie am Wurzelstumpf mit etwas Klebewachs befestigt. Sodann wurde der momentane Flüssigkeitsstand in der Kapillare durch einen kleinen Tropfen roten Klebewaxes markiert und unmittelbar darauf der eigentliche Versuch durchgeführt.

In der ersten Versuchsreihe wurde mit einem Rosenbohrer der Größe Nr. 8 und einer Umdrehungszahl von 2000 pro Minute solange gebohrt, bis der Bohrer im Dentin verschwunden war. Sofort danach wurde die Flüssigkeitsverschiebung an der Kapillare abgelesen. Weiterhin wurde die Flüssigkeitsverschiebung innerhalb der ersten fünf Minuten und innerhalb der nächsten fünf Minuten nach Versuchsende notiert.

Die zweite Versuchsreihe wurde genauso durchgeführt, nur betrug die Umdrehungszahl des Bohrers jetzt 5000 pro Minute.

In der dritten Versuchsreihe wurde mit einem walzenförmigen Schleifstein, der einen Durchmesser von 2,5 mm hatte und einer Umdrehungszahl von 8000 pro Minute 60 Sekunden lang im Dentin geschliffen. Dies geschah ohne Kühlung. Danach wurde die Flüssigkeitsverschiebung in der Kapillare abgelesen, wie in der ersten Versuchsreihe unmittelbar nach

Versuchsende, nach den ersten fünf Minuten und nach den nächsten fünf Minuten.

Die vierte Versuchsreihe wurde genauso durchgeführt, nur wurde hier während des Schleifens mit Wasser gekühlt. Das Kühlwasser hatte eine Temperatur von 25°C .

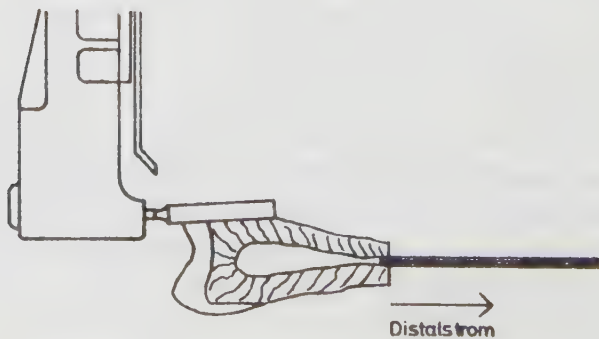
Die fünfte Versuchsreihe war entsprechend, nur wurde hier die Umdrehungszahl des Schleifsteins auf 20 000 pro Minute erhöht. Es wurde nicht gekühlt.

Die sechste Versuchsreihe, die der fünften gegenübergestellt wurde, war genauso angeordnet, nur wurde hier wieder mit Wasser gekühlt.

Die siebte und achte Versuchsreihen waren Turbinenversuche. Dabei wurde mit einem zylindrischen diamantierten Schleifkörper, Durchmesser 1 mm, eine Kavität in den Zahn gebohrt, die 2,5 mm lang, 2,5 mm breit und 2 mm tief war. Nachdem diese Größe erreicht war, wurde die Flüssigkeitsverschiebung in der Glaskapillare abgelesen wie in den Versuchsreihen vorher, nämlich direkt nach Versuchsende, nach den ersten fünf Minuten und nach den nächsten fünf Minuten. In der Versuchsreihe Nr. 7 wurde ohne Wasserkühlung und in der achten Versuchsreihe mit Wasserkühlung gearbeitet.

Die Versuchsanordnung ist aus Abbildung 3 zu sehen.

Abb 3



c) Statistische Verfahren für die Auswertung

1. Pro Versuch wird aus den Einzelwerten der Mittelwert, die Standardabweichung und der Standardfehler des Mittelwertes nach den Formeln berechnet:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i ;$$

$$s = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} ;$$

$$s_{\bar{x}} = \frac{s}{\sqrt{n}} ;$$

x_i = i-ter Meßwert

$i = 1 \dots n$

n = Anzahl der Werte pro Versuch

2. Zur Prüfung, ob zwischen den Meßwerten bei zwei verschiedenen Bedingungen mehr als rein zufällige Unterschiede auftreten, wird der Test nach Wilcoxon angewandt.

3. Die Mittelwerte der einzelnen Versuchsreihen werden sich in einem Übersichts - Säulendiagramm gegenübergestellt.

4. Die Verteilung der Werte in den einzelnen Versuchsreihen wird in Strichdiagrammen dargestellt.

5. Die Statistischen Maßzahlen: Mittelwerte, Standardfehler der Mittelwerte, Minimal- und Maximalwerte werden in Übersichtstabellen dargestellt.

d) Statistische Beurteilung

Ist der berechnete Prüfwert kleiner als der für eine Irrtumswahrscheinlichkeit von fünf Prozent tabellierte Grenzwert, so gilt der anhand des Beobachtungsumfanges aufgetretene Unterschied als zufallsbedingt und sachlich nicht vorhanden. Ist der berechnete Prüfwert gleich oder größer als der für eine Irrtumswahrscheinlichkeit von 5% tabellierte Grenzwert, aber kleiner als der für eine Irrtumswahrscheinlichkeit von 1% tabellierte Grenzwert, so gilt der beobachtete Unterschied als statistisch auffällig. Übersteigt der Prüfwert den für eine Irrtumswahrscheinlichkeit von 1% tabellierte Grenzwert, so gilt der Unterschied als statistisch gesichert (9).

2. Ergebnisse

Die Versuchsergebnisse sind in den Tabellen 1 - 8 und in den Strichdiagrammen Abbildung 4 - 7 dargestellt. In den Tabellen 9 und 10 sind die Statistischen Maßzahlen für alle Versuche zusammengefaßt und in Abbildung 8 graphisch dargestellt.

Tabelle 1 beinhaltet die Bohrversuche bei 2000 U/min, Tabelle 2 die bei 5000 U/min. In Abbildung 4 sind die Werte sich in Form eines Strichdiagramms gegenübergestellt. Aus der Verteilung der Werte erkennt man, daß kein wesentlicher Unterschied im Verhalten des Dentinliquors unter diesen Bedingungen besteht. Anhand des Stichprobenumfanges läßt sich mit dem Wilcoxon-Test kein statistisch auffälliger Unterschied nachweisen (Rangzahlen: 85; 115).

Die Tabellen 3 und 4 zeigen die Ergebnisse der Schleifversuche bei 8000 U/min ohne und mit Wasserkühlung. In Abbildung 5 sind sich die Werte der zwei Versuchsreihen in Form eines Strichdiagramms gegenübergestellt. Man sieht, daß sich die Flüssigkeitsäule ohne Kühlung nach distal bewegt und mit Kühlung in Richtung Pulpa. Nimmt man die Werte der Flüssigkeitsbewegung jedoch absolut, so besteht nach dem Wilcoxon-Test auch zwischen diesen beiden Versuchsreihen kein statistisch auffälliger Unterschied (Rangzahlen: 82,5; 117,5).

Die Tabellen 5 und 6 beinhalten die Versuchsreihen Schleifen bei 20 000 U/min ohne und mit Wasserkühlung. Wieder bewegt sich die Flüssigkeitsäule in der Kapillare ohne Wasserkühlung von der Pulpa weg, mit Wasserkühlung zur Pulpa hin. Auch hier läßt sich kein statistisch auffälliger Unterschied nachweisen (Rangzahlen: 91,5; 108,5).

In den Tabellen 7 und 8 sind die Ergebnisse der Turbinen-Versuchsreihen ohne und mit Kühlung enthalten und in Abbildung 7 in Form eines Strichdiagramms gegenübergestellt. In beiden Fällen bewegt sich die Flüssigkeitsäule in der Kapillare nach distal, jedoch ohne Kühlung stärker als mit Kühlung. Die Rangzahlen (91; 209) liegen genau an der Grenze zum statistisch auffälligen. Die Tabellen 9 und 10, sowie ihre graphische Darstellung in Abbildung 8 zeigen, daß sich bei sechs von acht Behandlungsarten

ein Distalstrom in der Kapillare ergibt. Nur bei den Schleifversuchen 8000 und 20 000 U/min mit Wasserkühlung bewegt sich die Flüssigkeitssäule in Richtung Pulpa. In allen Fällen wandert sie innerhalb der ersten fünf Minuten, sowie auch innerhalb der nächsten fünf Minuten nach Behandlungsende in Richtung Pulpa. Dabei ist bemerkenswert, daß die Verschiebung innerhalb der ersten fünf Minuten stärker ist als innerhalb der nächsten fünf Minuten.

Tabelle 1

Angaben über die im Bohrversuch mit 2000 U/min verwandten Zähne, deren Versorgungszustand und die Flüssigkeitsverschiebung in der Kapillare unter dem Bohren, innerhalb der ersten 5 Minuten und innerhalb der nächsten 5 Minuten.

			Änderung der Flüssigkeitsäule in der Kapillare			
Versuch Nr.	Zahn Nr.	Karies	Versorgungszustand	unter dem Bohren	innerhalb der ersten 5 Min.	innerhalb der nächsten 5 Min.
1	34	n	uv	+ 0,5	- 4,5	- 2
2	14	n	uv	+ 0,25	- 3,25	- 1
3	34	n	uv	+ 0,5	- 4,5	- 1
4	44	j	uv	+ 0,25	- 2,75	- 1
5	33	j	uv	+ 0,25	- 3,25	- 1
6	25	n	uv	+ 0,25	- 5,25	- 2
7	11	j	uv	0	- 2	- 1
8	22	n	uv	+ 0,5	- 3,5	- 2
9	12	n	uv	+ 0,25	- 3,25	- 3
10	34	n	uv	+ 0,25	- 0,75	- 0,5
Mittelwert $\bar{x}$				+ 0,30	- 3,30	- 1,45
Standardfehler des Mittelwertes $s_{\bar{x}}$				0,05	0,41	0,24

n : Keine Karies j : Karies

v : versorgt uv : unversorgt

+ : Flüssigkeitsverschiebung in der Kapillare nach distal (von der Pulpa weg)

- : Flüssigkeitsverschiebung in der Kapillare in Richtung Pulpa

Tabelle 2

Angaben über die im Bohrversuch mit 5000 U/min verwandten Zähne, deren Versorgungszustand und die Flüssigkeitsverschiebung in der Kapillare unter dem Bohren, innerhalb der ersten 5 Minuten und innerhalb der nächsten 5 Minuten.

Versuch Nr.	Zahn Nr.	Karies	Versorgungszustand	Änderung der Flüssigkeitsäule in der Kapillare	
				unter dem Bohren	innerhalb der ersten 5 Min. innerhalb der nächsten 5 Min.
1	44	n	uv	+ 0,5	- 2,5 - 1
2	45	n	uv	+ 0,25	- 2,25 - 0,5
3	33	j	uv	+ 0,5	- 1 - 1,5
4	21	j	v	+ 0,5	- 2 - 1,5
5	11	n	uv	+ 0,25	- 2,25 - 2
6	11	j	v	+ 0,5	- 3 - 0,5
7	12	j	uv	0	- 2 - 0,5
8	34	n	uv	+ 0,5	- 5,5 - 2
9	35	j	uv	+ 0,5	- 3,5 - 1
10	11	j	uv	0	- 6 - 4

Mittelwert $\bar{x}$	+ 0,35	- 3,10	- 1,45
Standardfehler des Mittelwertes $s_{\bar{x}}$	0,07	0,56	0,34

n : keine Karies j : Karies

v : versorgt uv : unversorgt

+ : Flüssigkeitsverschiebung in der Kapillare nach distal (von der Pulpa weg)

- : Flüssigkeitsverschiebung in der Kapillare in Richtung Pulpa

Abb. 4. Strichdiagramme für die Verteilung der Werte bei Bohrversuchen 2000 U/min und 5000 U/min

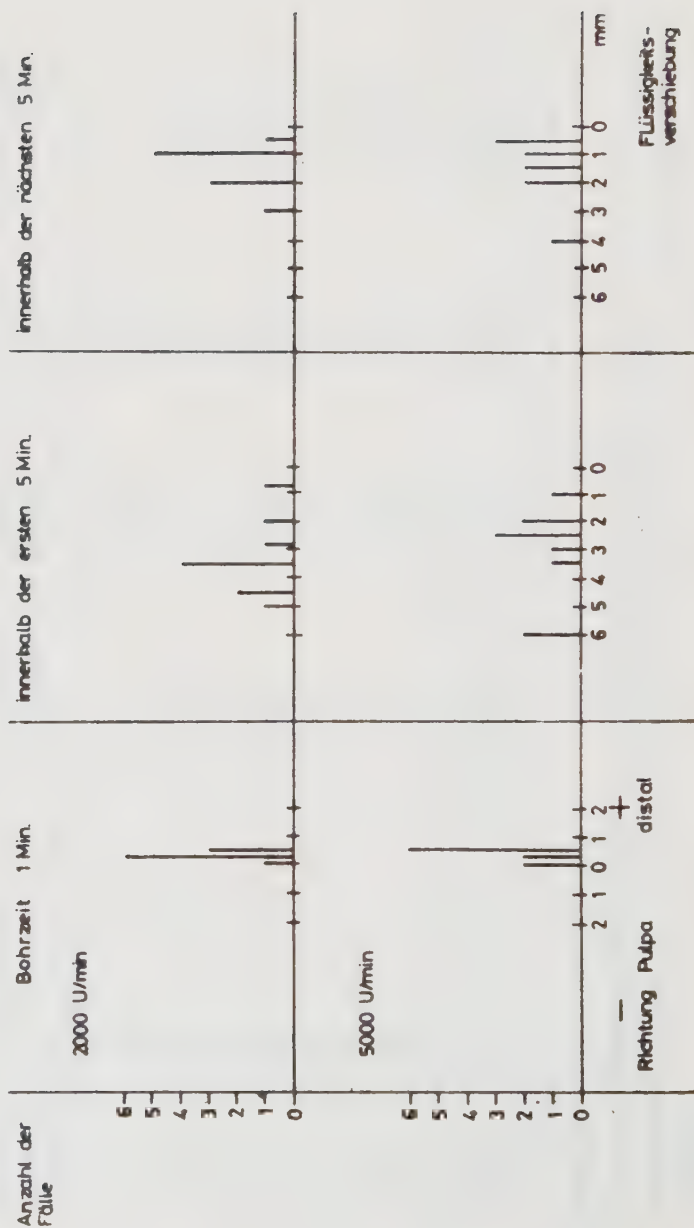


Tabelle 3

Angaben über die im Schleifversuch mit 8000 U/min ohne Kühlung verwandten Zähne, deren Versorgungszustand und die Flüssigkeitsverschiebung in der Kapillare unter dem Schleifen, innerhalb der ersten 5 Minuten und innerhalb der nächsten 5 Minuten.

Versuch Nr.	Zahn Nr.	Karies	Versorgungszustand	Änderung der Flüssigkeitssäule in der Kapillare		
				unter dem Schleifen	innerhalb der ersten 5 Min.	innerhalb der nächsten 5 Min.
1	33	j	uv	0	- 2	- 1
2	11	j	uv	+ 0,5	- 1	- 1,5
3	31	n	uv	+ 1	- 4	- 1
4	32	n	uv	+ 0,5	- 2,5	- 0,5
5	31	n	uv	0	- 1	- 3
6	32	n	uv	+ 0,25	- 1,25	- 1
7	45	j	uv	+ 2	- 5	- 3
8	25	j	v	+ 0,5	- 4,5	- 2
9	34	j	v	+ 0,5	- 1,5	- 1
10	22	n	uv	+ 1	- 2	- 1

- 1,50

0,28

Mittelwert $\bar{x}$ + 0,63

Standardfehler des Mittelwertes $s_{\bar{x}}$ 0,19

n : keine Karies j : Karies

v : versorgt uv : unversorgt

+ : Flüssigkeitsverschiebung in der Kapillare nach distal (von der Pulpa weg)

- : Flüssigkeitsverschiebung in der Kapillare in Richtung Pulpa

Tabelle 4

Angaben über die im Schleifversuch mit 8000 U/min unter Wasserkühlung verwandten Zähne, deren Versorgungszustand und die Flüssigkeitsverschiebung in der Kapillare unter dem Schleifen, innerhalb der ersten 5 Minuten und innerhalb der nächsten 5 Minuten.

Versuch Nr.	Zahn Nr.	Karies	Versorgungszustand	Änderung der Flüssigkeitssäule in der Kapillare		
				unter dem Schleifen	innerhalb der ersten 5 Min.	innerhalb der nächsten 5 Min.
1	34	j	v	- 0,5	- 1	- 1
2	44	j	uv	0	- 1,5	- 1,5
3	45	n	uv	0	- 1	- 1
4	12	j	uv	0	- 0,5	0
5	42	n	uv	0	- 1	- 0,5
6	41	j	uv	0	- 1,5	- 0,5
7	21	n	uv	- 0,5	- 1	- 0,5
8	11	n	v	- 0,25	- 1,75	- 1,5
9	22	n	uv	0	- 1	- 0,5
10	34	n	uv	- 1,5	- 1	- 0,5

Standardfehler des Mittelwertes $\bar{x}$		Mittelwert $\bar{x}$	- 0,28	- 1,13
		Mittelwertes $s_{\bar{x}}$	0,15	0,11
n : keine Karies	j : Karies			
v : versorgt	uv : unversorgt			
+ : Flüssigkeitsverschiebung in der Kapillare nach distal (von der Pulpa weg)				
- : Flüssigkeitsverschiebung in der Kapillare in Richtung Pulpa				

Abb. 5

Strichdiagramme für die Verteilung der Werte bei Schleifversuchen 8000 U/min ohne Wasserkühlung und mit Wasserkühlung

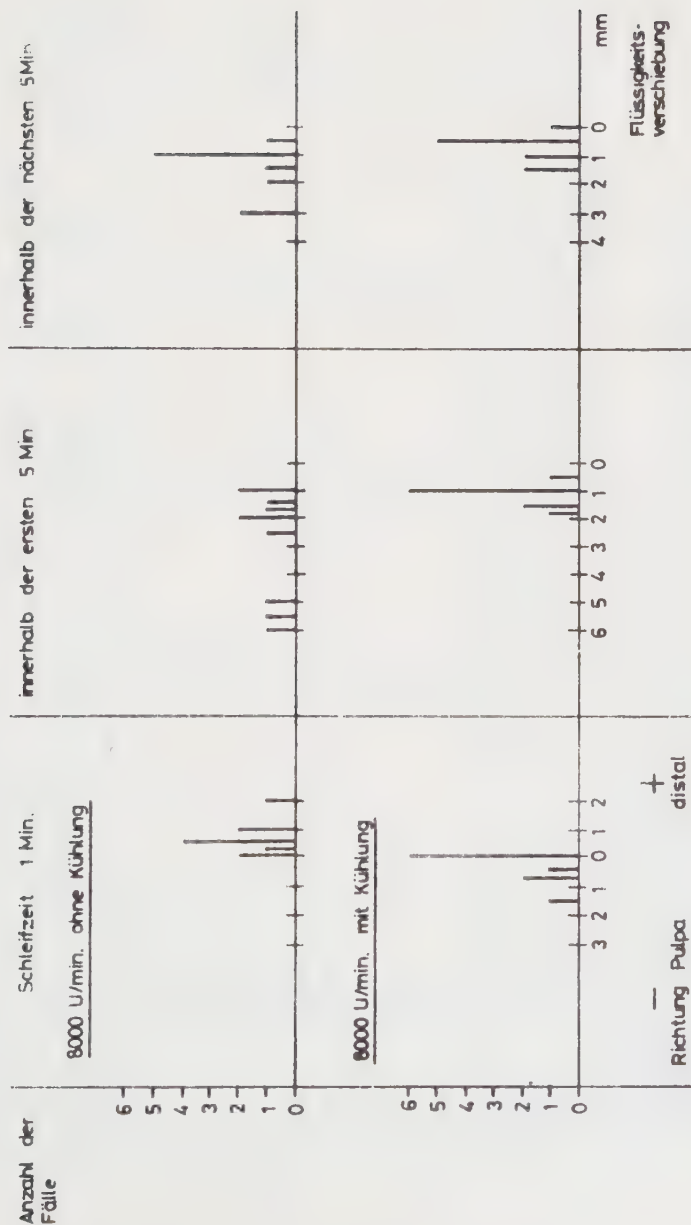


Tabelle 5

Angaben über die im Schleifversuch mit 20 000 U/min ohne Kühlung verwendeten Zähne, deren Versorgungszustand und die Flüssigkeitsverschiebung in der Kapillare unter dem Schleifen, innerhalb der ersten 5 Minuten und innerhalb der nächsten 5 Minuten.

Versuch Nr.	Zahn Nr.	Karies	Versorgungszustand	Änderung der Flüssigkeitssäule in der Kapillare		
				unter dem Schleifen	innerhalb der ersten 5 Min.	innerhalb der nächsten 5 Min.
1	21	n	uv	+ 1	- 4	- 1
2	34	n	uv	0	- 2	- 1
3	44	n	uv	+ 4	- 9	0
4	41	n	uv	+ 1	- 4	- 2
5	32	n	uv	+ 0,5	- 2,5	- 2
6	23	n	uv	+ 1,5	- 7,5	- 3
7	44	n	uv	+ 1,5	- 6	- 0,5
8	11	n	uv	+ 2	- 3,5	- 1,5
9	12	j	uv	+ 1	- 3	- 1
10	42	n	uv	+ 1,5	- 3,5	- 1,5
				Mittelwert $\bar{x}$	+ 1,40	- 1,35
				Standardfehler des Mittelwertes $\sigma_{\bar{x}}$	0,34	0,27

n : keine Karies j : Karies

v : versorgt uv : unversorgt

+ : Flüssigkeitsverschiebung in der Kapillare nach distal (von der Pulpa weg)

- : Flüssigkeitsverschiebung in der Kapillare in Richtung Pulpa

Tabelle 6

Angaben über die im Schleifversuch mit 20 000 U/min unter Wasserkühlung verwandten Zähne, deren Versorgungszustand und die Flüssigkeitsverschiebung in der Kapillare unter dem Schleifen, innerhalb der ersten 5 Minuten und innerhalb der nächsten 5 Minuten.

Änderung der Flüssigkeitssäule in der Kapillare

Versuch Nr.	Zahn Nr.	Karies	Versorgungszustand	unter dem Schleifen	innerhalb der ersten 5 Min.	innerhalb der nächsten 5 Min.
1	11	n	uv	- 1	- 1	- 1
2	12	n	uv	0	- 1,5	- 0,5
3	22	n	uv	- 1	0	- 0,5
4	11	n	uv	- 1,5	- 0,5	0
5	12	n	v	- 1	- 0,5	- 0,5
6	21	n	v	- 0,5	- 0,5	- 0,5
7	22	j	uv	- 3	- 0,5	- 0,5
8	13	j	v	- 1	- 1	- 0,5
9	23	j	uv	- 1	- 1,5	- 2,5
10	31	n	uv	- 0,5	- 0,5	0

Mittelwert $\bar{x}$ - 1,05 - 0,75 - 0,65
 Standardfehler des Mittelwertes $s_{\bar{x}}$ 0,25 0,15 0,22

- n : keine Karies j : Karies
 v : versorgt uv : unversorgt
 + : Flüssigkeitsverschiebung in der Kapillare nach distal (von der Pulpa weg)
 - : Flüssigkeitsverschiebung in der Kapillare in Richtung Pulpa

Abb. 6.

Strichdiagramme für die Verteilung der Werte bei Schleifversuchen 20 000 U/min ohne Wasserkühlung und mit Wasserkühlung

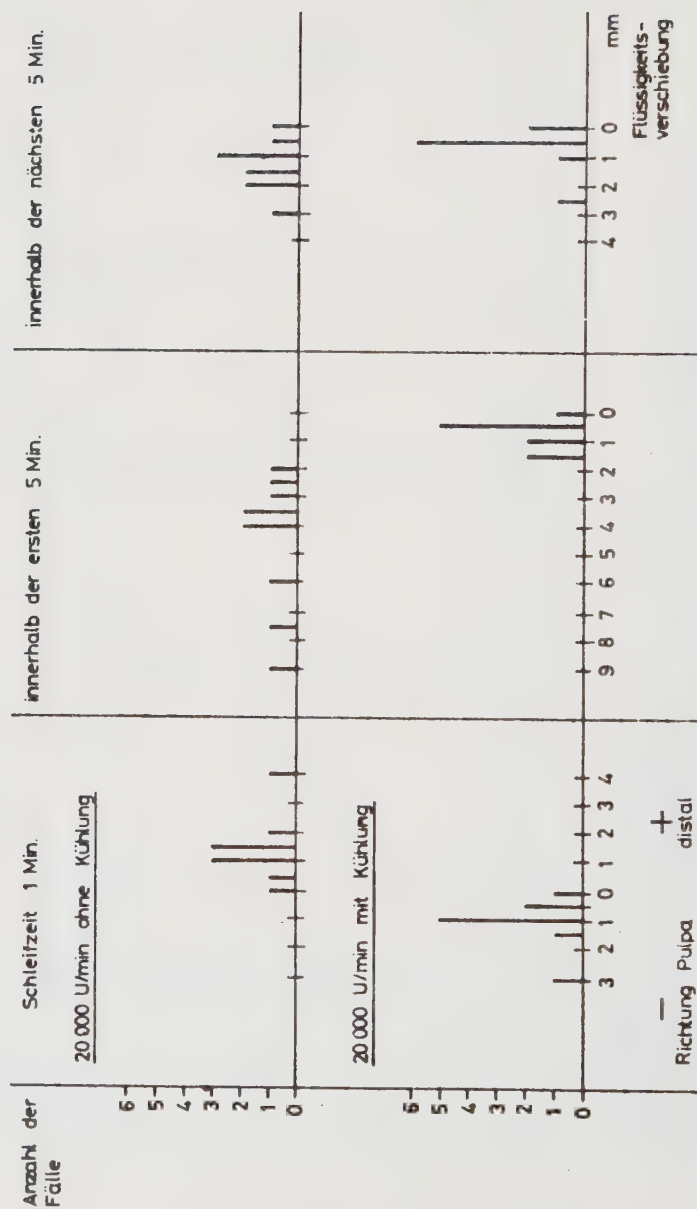


Tabelle 7

Angaben über die im Turbinenversuch ohne Kühlung verwendeten Zähne, deren Versorgungszustand und die Flüssigkeitsverschiebung in der Kapillare unter dem Schleifen, innerhalb der ersten 5 Minuten und innerhalb der nächsten 5 Minuten.

			Änderung der Flüssigkeitssäule in der Kapillare		
Versuch Nr.	Zahn Nr.	Karies	Versorgungszustand	unter dem Schleifen	innerhalb der ersten 5 Min. innerhalb der nächsten 5 Min.
1	23	j	uv	- 1,5	- 0,5
2	34	n	uv	0	0
3	31	j	uv	+ 2	- 1
4	32	n	uv	+ 2	- 1,5
5	15	j	v	+ 2,5	- 1
6	32	n	uv	0	- 2
7	31	n	uv	+ 2	- 1
8	41	n	uv	+ 1	- 2
9	42	n	uv	+ 0,5	- 1
10	42	n	uv	0	- 0,5
11	44	n	uv	+ 3	- 2
12	21	n	uv	+ 1	- 1
13	22	j	uv	+ 2	- 2,5
14	13	n	uv	+ 7	- 6
			Mittelwert $\bar{x}$	+ 1,54	- 1,54
			Standardfehler des Mittelwertes $s_{\bar{x}}$	0,53	0,39

n : keine Karies j : Karies

v : versorgt uv : unversorgt

+ : Flüssigkeitsverschiebung in der Kapillare nach distal (von der Pulpa weg)

- : Flüssigkeitsverschiebung in der Kapillare in Richtung Pulpa

Tabelle 8

Angaben über die im Turbinenversuch mit Wasserkühlung verwandten Zähne, deren Versorgungszustand und die Flüssigkeitsverschiebung in der Kapillare unter dem Schleifen, innerhalb der ersten und innerhalb der nächsten 5 Minuten.

Versuch Nr.	Zahn Nr.	Karies	Versorgungszustand	Änderung der Flüssigkeitssäule in der Kapillare unter dem Schleifen ersten 5 Min.	innerhalb der nächsten 5 Min.
1	33	j	uv	+ 7	- 3
2	33	j	v	0	- 2
3	13	n	uv	+ 0,5	- 5
4	23	n	uv	+ 0,5	- 3,5
5	15	j	uv	0	- 0,5
6	34	n	uv	+ 0,5	- 4
7	13	j	uv	0	- 3
8	34	n	uv	+ 0,25	- 2,25
9	33	j	uv	+ 0,25	- 2,25
10	34	n	uv	0	- 2,5

Mittelwert $\bar{x}$	+ 0,90	- 2,80	- 1,45
Standardfehler des Mittelwertes $\sigma_{\bar{x}}$	0,68	0,39	0,17

n : keine Karies j : Karies

v : versorgt uv : unversorgt

+ : Flüssigkeitsverschiebung in der Kapillare nach distal (von der Pulpa weg)

- : Flüssigkeitsverschiebung in der Kapillare in Richtung Pulpa

Abb. 7

Strichdiagramme für die Verteilung der Werte bei 14 Turbinenversuchen ohne Wasserkühlung und 10 Turbinenversuchen mit Wasserkühlung

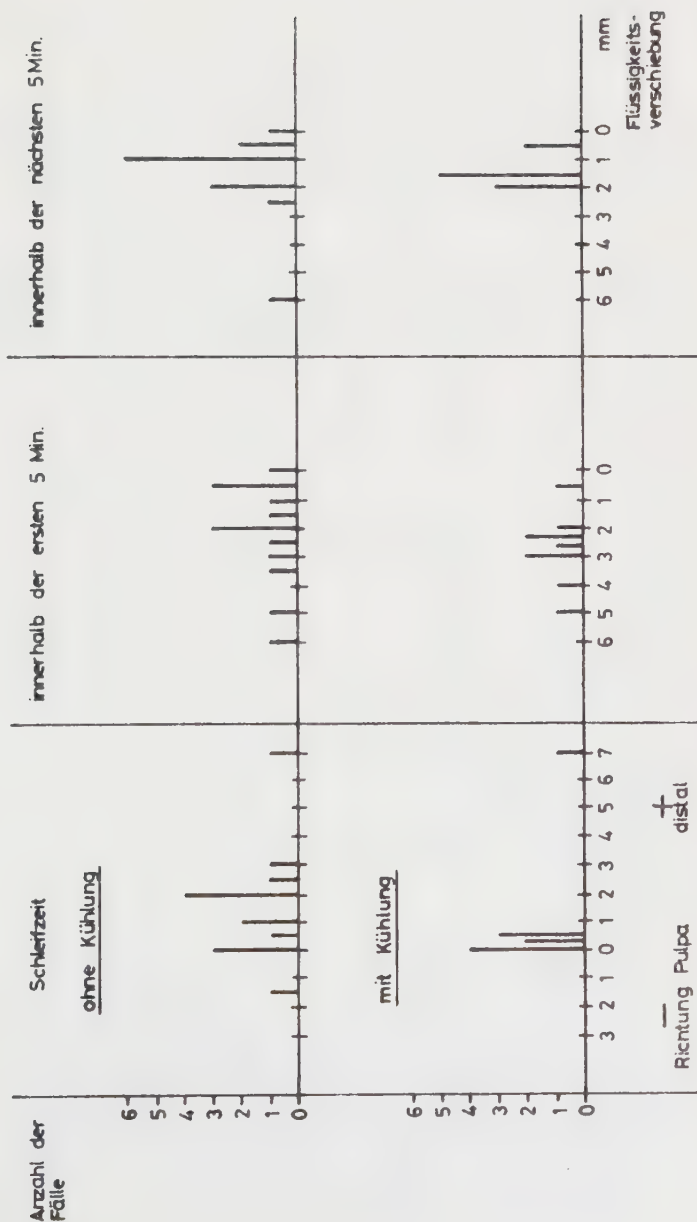


Tabelle 9

Angaben der statistischen Maßzahlen:

Mittelwerte ($\bar{x}$)

Standardfehler der Mittelwerte ($s_{\bar{x}}$)

Minimalwerte (min.) und Maximalwerte (max.)

der Verschiebung der Flüssigkeitssäule in der Kapillare bei den einzelnen Behandlungsarten unter der Behandlung.

Art der Behandlung	Zahl d. Versuche	Verschiebung der Flüssigkeitssäule unter der Behandlung			
		$\bar{x}$	$s_{\bar{x}}$	min.	max.
Bohren bei 2000 U/min	10	+ 0,30	0,05	0	0,5
Bohren bei 5000 U/min	10	+ 0,35	0,07	0	0,5
Schleifen bei 8000 U/min ohne Wasserkühlung	10	+ 0,63	0,19	0	2
Schleifen bei 8000 U/min mit Wasserkühlung	10	- 0,28	0,15	0	1,5
Schleifen bei 20 000 U/min ohne Wasserkühlung	10	+ 1,40	0,34	0	4
Schleifen bei 20 000 U/min mit Wasserkühlung	10	- 1,05	0,25	0	3
Turbine ohne Wasserkühlung	14	+ 1,54	0,53	0	7
Turbine mit Wasserkühlung	10	+ 0,90	0,68	0	7

+ : Flüssigkeitsverschiebung in der Kapillare nach distal

- : Flüssigkeitsverschiebung in der Kapillare in Richtung Pulpa

Tabelle 10

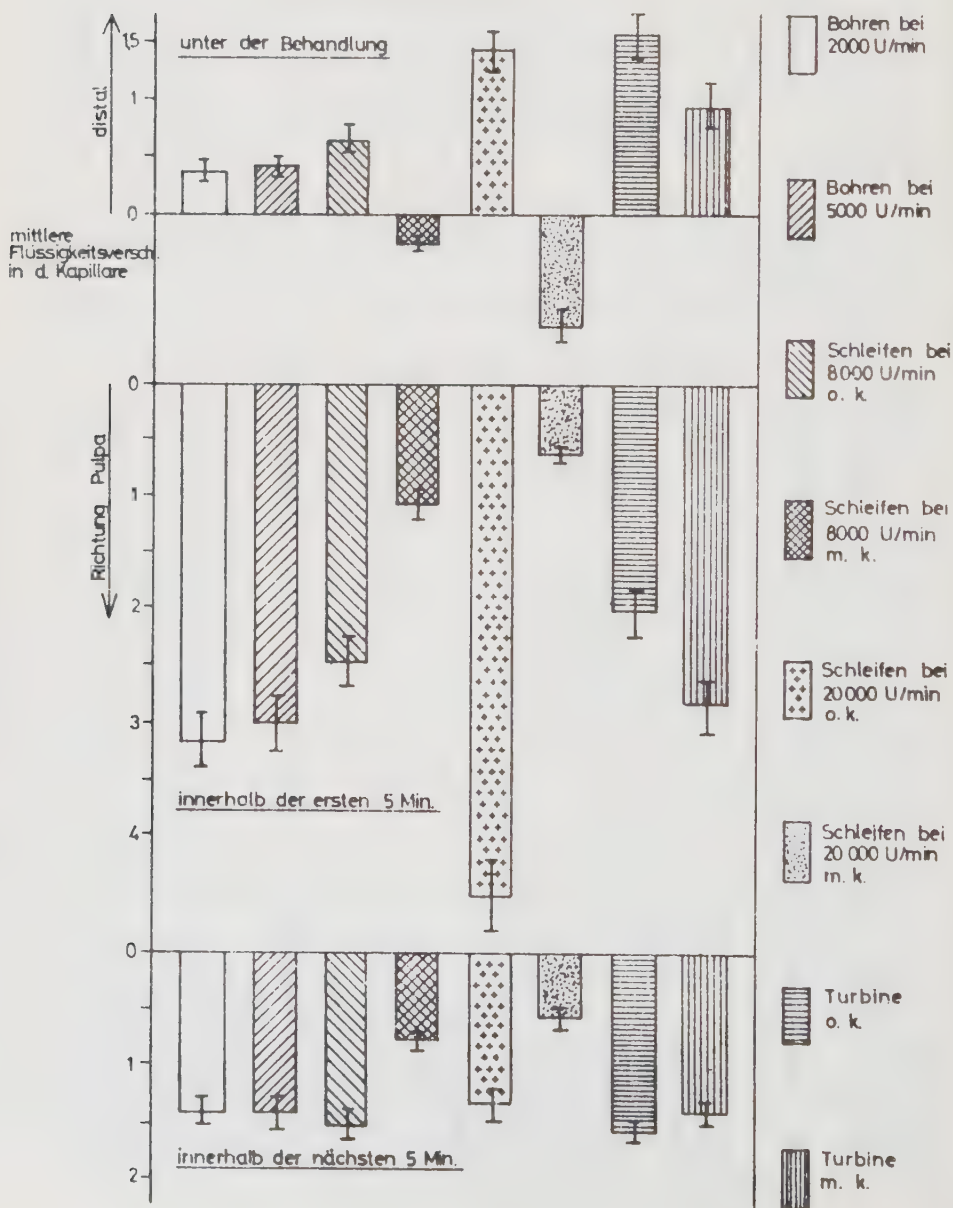
Angabe der statistischen Maßzahlen: Mittelwerte ($\bar{x}$), Standardfehler der Mittelwerte ($s_{\bar{x}}$), Minimal- und Maximalwerte der Verschiebung der Flüssigkeitssäule in der Kapillare bei den einzelnen Behandlungsarten innerhalb der ersten 5 Minuten und innerhalb der nächsten 5 Minuten nach der Behandlung.

Art d. Behandlung	Zahl der Versuche	Verschiebung der Flüssigkeitssäule innerhalb der ersten 5 Minuten				Verschiebung der Flüssigkeitssäule innerhalb der nächsten 5 Minuten			
		$\bar{x}$	$s_{\bar{x}}$	min.	max.	$\bar{x}$	$s_{\bar{x}}$	min.	max.
Bohren bei 2000 U/min	10	- 3,30	0,41	2	5,25	- 1,45	0,24	0,5	3
Bohren bei 5000 U/min	10	- 3,10	0,56	1	6,50	- 1,45	0,34	0,5	4
Schleifen bei 8000 U/min ohne Wasserkühlung	10	- 2,48	0,47	1	4,50	- 1,50	0,28	0,5	3
Schleifen bei 8000 U/min mit Wasserkühlung	10	- 1,13	0,11	0,5	1,75	- 0,75	0,15	0	1,5
Schleifen bei 20000 U/min ohne Wasserkühlung	10	- 4,50	0,72	2	9	- 1,35	0,27	0	3
Schleifen bei 20000 U/min mit Wasserkühlung	10	- 0,75	0,15	0,5	1,5	- 0,65	0,22	0,5	2,5
Turbine ohne Wasserkühlung	14	- 2,14	0,47	0	6	- 1,54	0,39	0	6
Turbine mit Wasserkühlung	10	- 2,80	0,39	0,5	5	- 1,45	0,17	0,5	2

+ : Flüssigkeitsverschiebung in der Kapillare nach distal
- : Flüssigkeitsverschiebung in der Kapillare in Richtung Pulpa

Abbildung 8

Darstellung der Mittelwerte und der Standardfehler der Mittelwerte der Flüssigkeitsverschiebung in der Kapillare bei allen Versuchsreihen unter der Behandlung, innerhalb der ersten 5 Minuten und innerhalb der nächsten 5 Minuten.



V. Kritische Betrachtung

Die vorliegende Arbeit stellt zum Teil eine Nachvollziehung, hauptsächlich jedoch eine Ergänzung der Brännströmschen Glaskapillarenversuche dar. Dabei wurde die Versuchsanordnung fast vollständig beibehalten. Lediglich besaß die verwendete Glaskapillare statt einer lichten Weite von 0,25 mm hier eine solche von 0,5 mm. Ansonsten wurden hier wie dort einwurzelige Zähne, die vorwiegend kariesfrei und unversorgt waren, nach der Extraktion reseziert und eine mit physiologischer Kochsalzlösung gefüllte Glaskapillare in die Wurzelpulpa eingeführt. Brännström bohrte mit einer Umdrehungszahl von 80 000 U/min und konnte nach 12-sekündigem Bohren eine Flüssigkeitsverschiebung in der Kapillare um 12 mm nach distal feststellen. Hier wurde in acht Versuchsreihen die Zahnhartsubstanz auf verschiedene Art und Weise bearbeitet: Es wurde mit verschiedener Umdrehungszahl bebohrt, nämlich mit 2000 und 5000 U/min und mit verschiedener Umdrehungszahl geschliffen, nämlich mit 8000 und 20 000 U/min. Die Schleifversuche wurde jeweils mit und ohne Wasserkühlung durchgeführt. Bei zwei weiteren Versuchsreihen mit der Turbine wurde ebenfalls mit und ohne Wasserkühlung gearbeitet.

Eine Gegenüberstellung der Ergebnisse bei den einzelnen Versuchsreihen liegt nahe. Es ergab sich, daß die Flüssigkeitssäule in der Kapillare bei den Bohrversuchen in jedem Fall unter dem Bohren nach distal wanderte und zwar bei 2000 U/min im Mittel um 0,30 mm und bei 5000 U/min um 0,35 mm.

Bei den Schleifversuchen ohne Kühlung ergab sich ebenfalls ein Distalstrom in der Kapillare und zwar bei 8000 U/min im Mittel um 0,63 mm und bei 20 000 U/min um 1,40 mm. Bei erhöhter Drehzahl lag der Wert also mehr als doppelt so hoch. Dieses Ergebnis ist zweifellos auf die bei höherer Umdrehungszahl größere Reibungshitze zurückzuführen. Die Schleifversuche mit Wasserkühlung führten im Gegensatz dazu zu einem pulpenwärts gerichteten Strom in der Kapillare. Dies zeigt, daß

durch die Wasserkühlung die Reibungshitze des Schleifsteins vollkommen ausgeschaltet werden konnte und es kam in diesem Falle die durch das Schleifen verursachte Dehydrierung zum Tragen, nämlich ein Verlust von Dentinliquor aus den eröffneten Dentinkanälchen. Daraus resultierte dann die pulpenwärts gerichtete Verschiebung der Flüssigkeitssäule in der Kapillare. Die Bearbeitung der Zahnhartsubstanz mit der Turbine ohne Kühlung verursachte erwartungsgemäß in der Kapillare den stärksten Distalstrom, nämlich im Mittel um 1,54 mm. Allerdings ergaben die Turbinenversuche mit Wasserkühlung ebenfalls einen wenn auch geringen Distalstrom. Man muß aus dieser Tatsache schließen, daß beim kontinuierlichen Schleifen mit der Turbine und einem Andruck von etwa 100 g so viel Reibungshitze entsteht, daß die Wasserkühlung nicht in der Lage ist, sie vollständig auszuschalten und also trotzdem eine Expansion innerhalb der Kanälchen verursacht wird.

Nach der Bearbeitung wurden die Zähne noch 10 Minuten liegen gelassen und die weitere Flüssigkeitsverschiebung innerhalb der ersten und innerhalb der nächsten fünf Minuten festgehalten. Es ergab sich bei allen Versuchsreihen in dieser Zeit eine Änderung der Flüssigkeitssäule in Richtung Pulpa und zwar war diese Verschiebung innerhalb der ersten fünf Minuten immer größer als innerhalb der nächsten fünf Minuten. Mit großer Wahrscheinlichkeit hätte sich der Strom bei weiterem Abwarten noch mehr verlangsamt. Diese Flüssigkeitsverschiebung ist zweifellos durch das Austreten von Dentinliquor aus den bei der Bearbeitung eröffneten Kanälchen bedingt. Während der ersten fünf Minuten tritt also immer mehr Liquor aus als innerhalb der nächsten fünf Minuten. Die gleiche Beobachtung machte auch O. Heikinheimo in seiner Filmanalyse über Morphologie und Bewegung des Dentinliquor.

Einige Widersprüche ergeben sich, wenn man die Versuchsergebnisse in Zusammenhang bringt mit der Theorie von M. Brännström über die Sensibilität des Dentins. Danach ist diese die Folge des hydrodynamischen Transmissionsmechanis-

mus, d.h. jeglicher Fluß von Dentinliquor in den Kanälchen, der hinreichend schnell geschieht, führt zu einer Schmerzempfindung, gleichgültig, ob sich der Liquor in Richtung Pulpa oder nach außen zu bewegt. So gesehen besteht zwischen den Versuchsreihen Schleifen bei 8000 U/min mit Wasserkühlung und ohne Wasserkühlung nach dem Rangtest nach Wilcoxon kein statistisch signifikanter Unterschied. Ebenso zwischen den Versuchsreihen Schleifen bei 20 000 U/min mit und ohne Wasserkühlung. Bei den Turbinenversuchsreihen mit und ohne Wasserkühlung lag der Wert an der Grenze zum statistisch auffälligen. Wenn man die Schleifversuchsreihen 8000 U/min ohne Wasserkühlung und 20 000 U/min ohne Wasserkühlung vergleicht, ergibt sich ein statistisch signifikanter Unterschied (Summe der Rangzahlen: 70,5;129,5).

Dies würde bedeuten, daß beim Beschleifen des Dentins mit und ohne Wasserkühlung eine gleich große Schmerzreaktion auftreten müßte, da es in beiden Fällen zu einem Strom von Dentinliquor kommt, zwar in entgegengesetzter Richtung, jedoch etwa gleich groß. Nun ist es in der Praxis aber eine jedem bekannte Tatsache, daß es für den Patienten wesentlich schonender und weniger schmerzhaft ist, wenn man mit Wasserkühlung schleift, da dabei die Temperaturerhöhung ausgeschaltet wird. Diese Diskrepanz ist meiner Ansicht nach ein Beweis dafür, daß beim Bearbeiten der Zahnhartsubstanz der Schmerzreiz weniger über den hydrodynamischen Transmissionsmechanismus als über die in den Dentinkanälchen vorhandenen nervösen Elemente weitergeleitet wird. Hier konnte nur bewiesen werden, daß sich beim Bearbeiten der Zahnhartsubstanz die Druckverhältnisse des Dentinliquor auf bestimmte Art und Weise ändern. Die Reizleitung im Dentin scheint also über eine Kombination aus Druckveränderungen im Liquor und nervösen Elementen abzulaufen.

VI. Zusammenfassung

Diese Untersuchung ist eine Fortführung der Brännströmschen Glaskapillarenversuche. In acht Versuchareihen wurden an 84 frisch extrahierten, einwurzeligen und vorwiegend kariesfreien Zähnen in vitro Experimente durchgeführt. Die Wurzelspitzen dieser Zähne wurden reseziert und in den Wurzelkanal eine Glaskapillare eingeführt, in der sich physiologische Kochsalzlösung befand. Danach wurde die Zahnhartsubstanz auf acht verschiedene Arten bearbeitet und die dabei auftretenden Schwankungen des Dentinliquordruckes konnten an Hand der Änderung der Flüssigkeitssäule in der Kapillare festgestellt und in mm abgelesen werden.

Es ergaben sich folgende Ergebnisse: Beim Bohren mit 2000 U/min im Dentin verschob sich die Flüssigkeitssäule in der Kapillare im Mittel um 0,3 mm nach distal. Nach Erhöhung der Drehzahl auf 5000 U/min betrug der Ausschlag nach distal im Mittel 0,35 mm. Beim Schleifen mit 8000 U/min ohne Wasserkühlung verschob sich die Flüssigkeitssäule im Mittel um 0,63 mm nach distal. Die gleiche Versuchsreihe mit Wasserkühlung ergab eine Verschiebung in Richtung Pulpa, also entgegengesetzt um 0,28 mm. Nach Erhöhung der Drehzahl des Schleifsteins auf 20 000 U/min ohne Wasserkühlung verschob sich die Flüssigkeitssäule um durchschnittlich 1,40 mm nach distal. Mit Wasserkühlung bei gleicher Drehzahl ergab sich ein Strom in der Kapillare in Richtung Pulpa um 1,05 mm. Das Beschleifen des Dentins mit der Turbine ohne Wasserkühlung führte zu einem Distalstrom in der Kapillare um durchschnittlich 1,54 mm. Auch mit Wasserkühlung verschob sich die Flüssigkeitssäule nach distal, jedoch nur um 0,90 mm im Mittel.

Es konnte somit zwar gezeigt werden, daß und auf welche Weise sich der Liquordruck in den Dentinkanälchen verändert, jedoch konnte nicht bewiesen werden, daß die Schmerzempfindung in direktem Zusammenhang damit steht, denn sowohl das Schleifen

mit als auch ohne Wasserkühlung führten zu einer Druck-
änderung in den Dentinkanälchen, zwar mit umgekehrtem
Vorzeichen, aber etwa gleich groß. Somit komme ich zu
dem Schluß, daß die Schmerzleitung im Dentin gleichzeitig
über den hydrodynamischen Transmissionsmechanismus und über
nervöse Elemente innerhalb der Dentinkanälchen verläuft.

Nach der Bearbeitung der Zahnhartsubstanz trat bei allen
Versuchsreihen der Liquor aus den eröffneten Kanälchen
aus. Dies fand seinen Ausdruck in einer Verschiebung der
Flüssigkeitssäule in Richtung Pulpa. Der Liquoraustritt
war innerhalb der ersten fünf Minuten immer größer als in-
nerhalb der nächsten fünf Minuten.

VII. Literaturverzeichnis

1. **A d e l p h, W.:**

Die Struktur der Dentinoberfläche nach der Bearbeitung mit normal- und höchsttourigen Präparationsinstrumenten.

Dtsch. zahnärztl. Z. 14 (1959) H. 8, 1344

2. **B r ä n n s t r ö m, M.:**

Eine Theorie über die Sensibilität des Dentins.

DZ. ZAK- Heilkunde Bd. 39 H. 1 u. 2, 7 (1963)

3. **E i c h n e r, K.:**

Hoch- und höchsttouriges Bohren und Schleifen.

Schweiz. Mochr. Zahnhk. 77 (1967) H. 1, 20

4. **F i s c h e r, G.:**

Normale und pathologische Biologie des Zahnsystems.

Verlag Schmidt, Bern, Bielefeld, München (1953)

5. **F u h r, K.:**

Vergleichende Untersuchungen über die Temperaturverhältnisse beim zahnärztlichen Bohren und Schleifen.

Dtsch. zahnärztl. Z. 18 (1963) H. 17, 986

6. **G r i g u l l, U.:**

Versuche über die Temperaturerhöhung beim Bohren und Schleifen von Zähnen.

Stoma 17 (1964) H. 3, 247

7. **H e i k i n h e i m o, O.:**

Filmanalyse der Morphologie und Bewegung der Dentinflüssigkeit.

Dtsch. zahnärztl. Z. 19 (1964) H. 7, 577

8. H o p p e, W.F.; J. S t u e b e n:
Über die Messung des Volumens des Dentinliquors
und über das Verhältnis des Kanalvolumens zum Ge-
samtzahnvolumen.
Stoma 18 (1965) 38
9. K o l l e r, S.:
Neue graphische Tafeln zur Beurteilung statistischer
Zahlen.
4. Auflage Darmstadt 1969
10. O h l e n b u s c h, H.D.; J. S t u e b e n,
Th. S p r e t e r v o n K r e u d e n s t e i n:
Experimentelle Untersuchungen über den Gehalt an al-
kalischen Phosphatase im Dentinliquor menschlicher
und tierischer Zähne.
Dtsch. zahnärztl. Z. 14 (1959) 1250
11. S p r e t e r v o n K r e u d e n s t e i n, Th.:
Dentinstoffwechselstudien. Mitteilung über den Dentin-
liquor.
Dtsch. zahnärztl. Z. 10 (1955) 473
12. S p r e t e r v o n K r e u d e n s t e i n, Th.:
Über den Nachweis der Aktivität verschiedener Fer-
mente im Dentinliquor.
Dtsch. zahnärztl. Z. 15 (1960) 371
13. S t u e b e n, J.; Th. S p r e t e r v o n
K r e u d e n s t e i n:
Dentinstoffwechselstudien. Papierchromatographische
Untersuchungen über den Gehalt an freien Aminosäuren
im Dentinliquor menschlicher Zähne.
Dtsch. zahnärztl. Z. 11 (1956) 1448

14. **Stueben, J.; Th. Spreter von Kreudenstein:**
Dentinstoffwechselstudien. Papierchromatographische Untersuchungen über die Zusammensetzung der Dentinliquorproteine.
Dtsch. zahnärztl. Z. 12 (1957) 500
15. **Stueben, J.; Th. Spreter von Kreudenstein:**
Dentinstoffwechselstudien. Untersuchungen über den Eiweißgehalt des Dentinliquors menschlicher und tierischer Zähne auf Grund der Bestimmung des Gesamtstickstoff- und Reststickstoffgehaltes in Dentineluaten.
Dtsch. zahnärztl. Z. 14 (1959) 1702
16. **Stueben, J. und W.F. Hoppe:**
Experimentelle Untersuchungen über die Veränderungen der Pulpa nach normal- und höchsttourigem Schleifen und Bohren.
Dtsch. zahnärztl. Z. 19 (1964) H. 7, 601
17. **Symons, N.B.D.:**
Dentine and Pulp: Their Structure and Reactions.
Edinburgh u. London 1968
18. **Weder, M.:**
Über die Veränderungen der Pulpa des menschlichen Zahnes nach Beschleifen mit hohen Geschwindigkeiten.
Dtsch. zahnärztl. Z. 15 (1960) H. 2, 104

Herrn Professor Dr. Dr. W. Ketterl möchte ich an dieser Stelle für die Überlassung des Themas, sowie seine freundliche Beratung und Unterstützung bei der Feststellung der Arbeit sehr herzlich danken.

Herrn Professor Dr. Berger vom Institut für Medizinische Statistik und Dokumentation der Johannes-Gutenberg-Universität danke ich für die Beratung und Hilfe bei der statistischen Auswertung.

L e b e n s l a u f

Am 15. September 1946 wurde ich, Karl-Heinz Pfeifer in Hühfröschen im Landkreis Pirmasens im Bundesland Rheinland-Pfalz geboren.

Meine Eltern sind der Zahnarzt Eugen Pfeifer und die Lehrerin Julia Pfeifer, geb. Straßer.

Von 1953-58 besuchte ich die Volksschule in Hühfröschen und wechselte dann über zum Leibniz-Gymnasium in Pirmasens, wo ich am 20. Oktober 1966 meine Reifeprüfung bestand.

Im Wintersemester 1966/67 begann ich das Studium der Zahnmedizin an der Johannes-Gutenberg-Universität Mainz. Im Juli 1969 hatte ich die zahnärztliche Vorprüfung bestanden und beendete das klinische Studium, welches ich ebenfalls in Mainz absolvierte, mit der zahnärztlichen Prüfung am 4. Juli 1972.

Am 2. Oktober 1972 wurde ich zur Bundeswehr einberufen und praktiziere z.Zt. als Stabsarzt in der Zahnstation der Generaloberst-Dietl-Kaserne in Füssen. Mein 15-monatiger Wehrdienst wird am 31. Dezember 1973 beendet sein.

Füssen, Oktober 1973

